

六本木庁舎屋上ドームを利用した実大振動実験速報

Vibration Tests of Tension Truss Dome on The Top of Former Institute Building

西田 明美*・劉 鵬*・川口 健一*・内海 良和**
 荒木 直人***・金山 敬**・小田 憲史***

Akemi NISHIDA, Peng LIU, Ken'ichi KAWAGUCHI, Yoshikazu UTSUMI,
 Naoto ARAKI, Takashi KANAYAMA and Kenshi ODA

1. 研究の背景と目的

一般に、実大構造物の振動特性の調査は、設計時に観測が計画されない限り難しく、調査報告も数少ない。今回、東京大学生産技術研究所の移転完了に伴い六本木庁舎屋上ドームの撤去が確実にされたため、本屋上ドームの载荷実験および振動・波動実験を企画、実行した。この屋上ドームは張力安定トラスユニット^{1,2)}(図1)を集積した構造シ

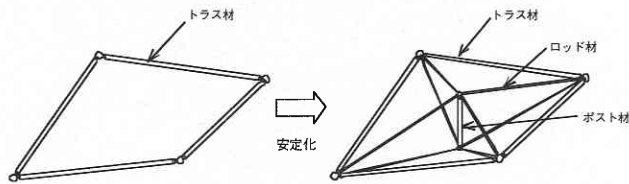


図1 張力安定トラスユニット

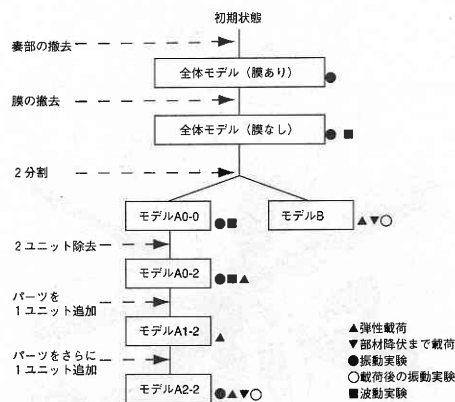


図2 実験工程フロー図

ステムで、屋根材として膜を用いた膜構造である。膜の有無が構造特性に与える影響、実大構造物の減衰特性の調査等を目的とし、様々なフェーズにおいて振動・波動実験が実施された(図2)。振動実験としては7つのフェーズにおいて、また、波動実験としては3つのフェーズにおいて実験を行った。本報告では、そのうち、全体モデル(膜あり)、および、全体モデル(膜なし)の振動実験結果について速報する。前半で、実験概要として試験体、実験方法、測定方法などについて述べる。後半では、全体モデルに対して得られた時刻歴応答およびそのフーリエ・スペクトルを示す。



写真1 張力安定トラスドーム：全体モデル(膜あり)

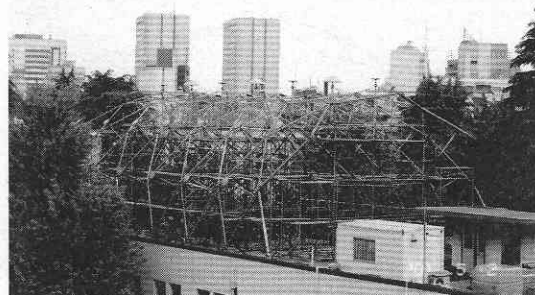


写真2 張力安定トラスドーム：全体モデル(膜なし)

*東京大学生産技術研究所 人間・社会部門
 ** (株)大林組
 *** 太陽工業(株)

2. 振動実験概要

2.1 試験体

振動実験は図2に示されるように以下の7つのフェーズにおいて実験を実施した。

全体モデル(膜あり) / 全体モデル(膜なし)

モデルA₀₋₀ / モデルA₀₋₂ / モデルA₂₋₂

モデルB(載荷後) / モデルA₂₋₂(載荷後)

ここで、モデルAの下付数字は部材の除去や追加により試験体が変わっていることを表す。

実験に用いた試験体の平面図および断面図を図3および図4に示す。試験体は張力安定トラスユニットからなる円筒形で、ユニットは縦に1つのポスト、4本一組のトラス材、それらをつなぐ8本のケーブル材からなる。材料は全て鉄であり、トラス材およびポスト材には鋼管、ケーブル材には鋼棒が用いられている。

2.2 実験方法

実験は構造物のジョイントにおもりを吊す、いわゆる初期変位を与える方法により行った。おもりの吊り下げ位置は、振動モードを考慮し、アーチの頂部(90度位置)と45度位置の2カ所を選択した。前者を起振1、後者を起振2とよぶことにする。吊り下げ位置は図3および図4に示

されている。吊り下げ状態概略を図5に示す。図に示すように、おもりは一点から吊り下げず、ワイヤーを利用して同一母線上の隣り合った2つのジョイントからV字型に吊り下げた。ジョイントとワイヤーの取り付けの様子を写真3に示す。全体モデル・起振1の場合は、足場等の関係でV字型に吊ることが困難であったため、ワイヤーをほぼ鉛直下に下ろし、水平棒(足場用単管)と番線を介しておもりを吊り下げた。全体モデル・起振1以外の振動実験では、V字型に吊られたワイヤーの最下部にシャックルと番線を介しておもりを吊り下げた。実験ごとに番線を切断し、おもりを落下させた。落下場所はむき出しのコンクリート床であったため、約15cm厚さのスポンジまたはスタイロフォームを敷き、衝撃を和らげた。

振動特性と振幅との関係を調査するため、おもりの全重量は100kg、150kg、200kgの3通りを採用した。ひとつ約10kgのおもりを、指定された重量分だけ、V字型に吊られたワイヤーの最下部にシャックルを介して吊り下げた。全体モデル・起振2におけるおもりの全重量が200kgのときのおもり吊り下げの様子を写真4に示す。おもりの落下はそれぞれの重量に対して最低3回の有効なデータが得られるように行われた。

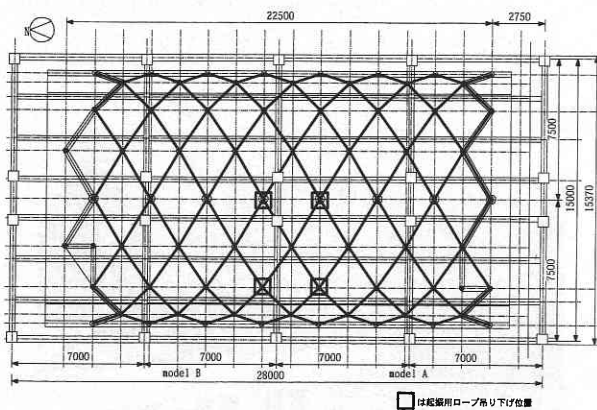


図3 張力安定トラスドーム平面図

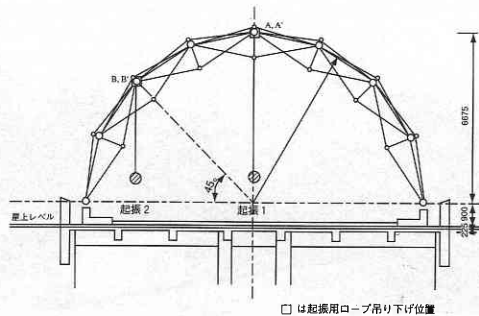


図4 張力安定トラスドーム断面図

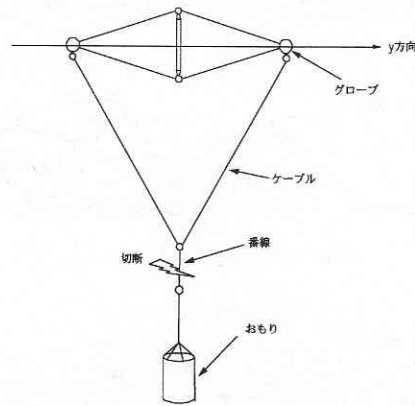


図5 おもり吊り下げ図



写真3 ワイヤーが吊られたジョイント(起振2)

また、載荷後の試験体は剛性が低くなっていたため、人力で加振した。

2.3 測定方法

測定にはひずみゲージ式加速度計（最大 5 G）を用い、構造物のジョイントに 8 個または 12 個設置して計測を行った。ジョイントの状態に応じてジョイントの上部または下部に瞬間接着剤で加速度計を固定し、いずれの場合も設置方向は断面アーチの法線方向に対して外向き正とした。

全体モデルの加速度計の配置を図 6 に、設置状況を写真 5 に示す。収録にはニコレー社製マルチプロシリーズの多機能トリガーモジュール（MP 200：最小時間刻み 1 μs）を用いた。主な収録時間刻みは 5 ms、ナイキスト振動数は 100 Hz、収録データ数は最小 2000 最大 12000（応答の継続時間により調整）、収録時間は最短 10 sec 最長 60 sec であ

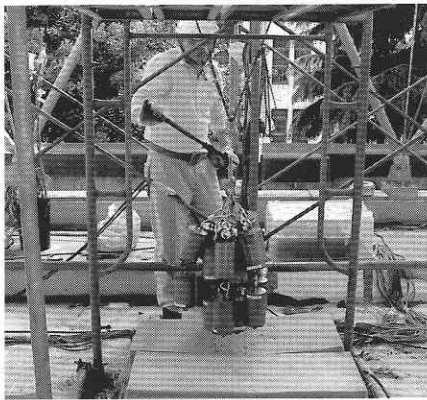


写真 4 おもり吊り下げの様子（全体モデル・起振 2・200 kg）

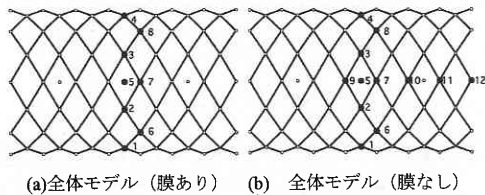


図 6 加速度計配置図



写真 5 加速度計設置状況

る。測定はおもり吊り下げ位置に設置された加速度計の加速度応答が設定トリガー値を越えたときに収録が開始されるようセットして行われた。人力加振の場合には、加振点となったジョイントに設置されている加速度計にトリガーを設定した。ある程度振動が大きくなった時点で手を離し、その後自由振動がおさまるまでデータ収録を行った。

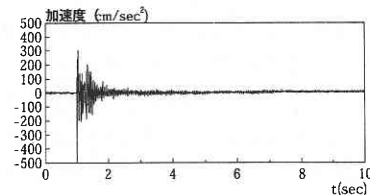
3. 実験結果

3.1 全体モデル（膜あり）振動実験結果

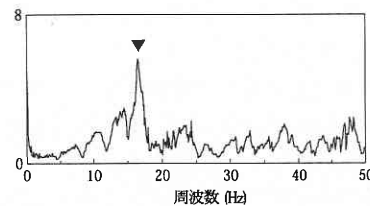
全体モデル（膜あり）の実験当日の天気は曇り、風は微風、気温は最大 16℃であった。当初膜付構造の実験ということで風の影響が懸念されたが、実験当日は幸運にもその影響はほとんどなかった。計測の時間刻みは 5 ms、データ数は 2000、収録時間は 10 sec である。加速度計は全 8 個を図 6 (a) に示すように設置した。起振 1 の時刻歴応答例として、おもり 100 kg における加速度応答時刻歴、および、平均化処理を行ったフーリエ振幅スペクトルをそれぞれ図 7 の (a) (b) に示す。起振 1 では、起振位置である測定点 7 および 8 で応答が特に大きくなっていた。同様に、起振 2 について、おもり 200 kg における加速度応答時刻歴、および、フーリエ振幅スペクトルをそれぞれ図 8 の (a) (b) に示す。起振 2 では、起振位置 7 以外に、測定点 6 および 8 など 45 度近辺に位置する測定点が大きな応答を示していた。起振 1 と起振 2 では卓越する振動数が異なっており、それぞれ 2 次モードおよび 1 次モードが卓越していると推定される。

3.2 全体モデル（膜なし）振動実験結果

全体モデル（膜あり）の膜を除去したモデルを全体モデル（膜なし）とよんでいる。全体モデル（膜なし）の実験当日の天気は晴れ、風は強く、気温は最大 26.5℃であっ



(a) 時刻歴応答



(b) フーリエ振幅スペクトル

図 7 全体モデル（膜あり）・起振 1・100 kg・測定点 7

研 究 速 報

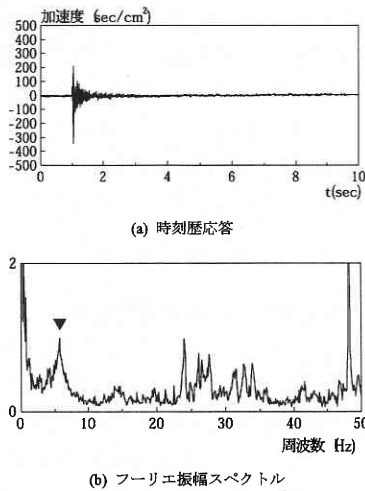


図 8 全体モデル (膜あり) ・起振 2 ・ 200 kg ・ 測定点 8

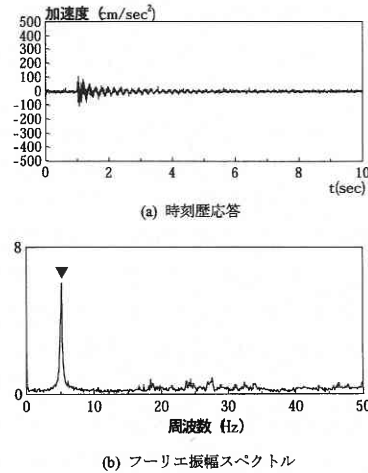


図 10 全体モデル (膜なし) ・起振 2 ・ 200 kg ・ 測定点 8

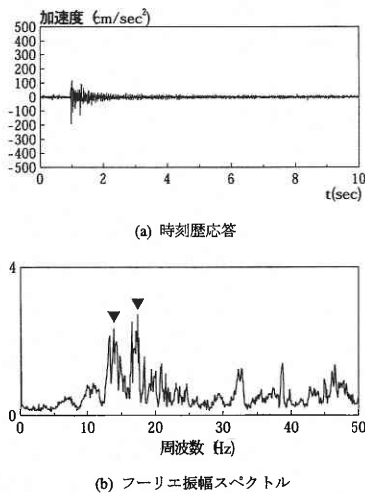


図 9 全体モデル (膜なし) ・起振 1 ・ 100 kg ・ 測定点 7

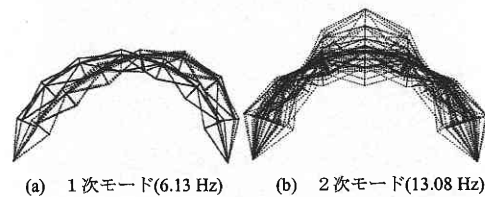


図 11 全体モデル (膜なし) の固有振動数と固有モード

表 1 膜の有無による動特性の比較 (括弧内は解析結果)

		膜あり	膜なし
起振 1	固有振動数(Hz)	16.5	13.9(13.08)
	減衰定数	0.025	0.013
起振 2	固有振動数(Hz)	5.76	5.17(6.13)
	減衰定数	0.047	0.018

において、実験結果と解析結果は良い一致を示している。

4. さ い ご に

本実験は屋外実験であったため、発電機と無停電装置を準備し、雨風の養生をしながらの実験となった。また、移転完了直後の実験であり、所内各方面の方々のご協力により無事実験を完了することができました。ここに記して感謝いたします。

(2001年9月13日受理)

文 献

- 1) K. Kawaguchi, K. Oda and Y. Hangai, "Experiments and Construction of Truss Structure Stabilised by Cable Tension", Proc. of International Symposium on Shell & Spatial Structures, Vol 1, pp. 421-429, 1997. 11.
- 2) 半谷裕彦, 川口健一, 小田憲史, 張力安定トラス構造の構造挙動と構造設計, 東京大学生産技術研究所報告, 第 36 巻, 第 2 号, 1991 年 5 月.

た。計測の時間刻みは 5 ms, データ数は 2000, 収録時間は 10 sec である。加速度計は全 12 個を図 6 (b) に示すように設置した。全体モデル (膜あり) 同様, 起振 1 および起振 2 について, それぞれの加速度応答時刻歴, および, フーリエ振幅スペクトルを図 9 および図 10 に示す。膜除去後のモデルも強風時には風の影響を大きく受け, 収録データにはノイズが多く含まれていた。全体モデル (膜なし) の固有値解析結果を図 11 に示す。

3.3 全体モデル (膜あり) と全体モデル (膜なし) の比較

全体モデルの振動実験から得られた固有振動数と減衰定数を表 1 にまとめて示す。減衰定数はフーリエ振幅スペクトルを平均化し $1/\sqrt{2}$ 法を適用することにより評価した。膜ありの場合には膜なしの場合よりも固有振動数が高く, 減衰が倍程度大きいことがわかる。膜なしの固有振動数に